

Modifikasi Limbah Abu Layang sebagai Material Baru Adsorben

Zahrul Mufrodi¹, Bachrun Sutrisno², Arif Hidayat²

¹Program Studi Teknik Kimia, FTI Universitas Ahmad Dahlan
Kampus III: Jl. Prof. Dr. Soepomo, Janturan, Yogyakarta 55164
Zahrul_mufrodi@yahoo.com.sg

²Program Studi Teknik Kimia, FTI Universitas Islam Indonesia
Kampus UII terpadu, Jl. Kaliurang km 14,5

Abstract

Abundant reserves of coal make this material a choice of fuel replacement, especially for the industry. But the use of coal is not without risk, the imperfect combustion of coal product fly ash. The presence of silica and alumina used components from fly ash can be synthesized in a structure similar to zeolite or known as *zeolite like material* (ZLM).

This study aims to synthesize ZLM from fly ash as dye adsorbent of textile industry waste. Use of fly ash are expected to increase the economic value of industrial solid waste of power plants. Fly ash was Activated by mixing with an sulphuric acid solution (H_2SO_4) for 4 hours with reflux. Then the solid and solution are separated by filtration. Solid was neutralized with adding aquadest. Then solid was dried for about 2 hours. To determine the success of the synthesis also been conducted an analysis physicochemical properties of zeolites material : the specific surface area, crystallinity, silica and alumina ratio, functional group by FT - IR analysis and cation exchange capacity analysis.

The results showed that ash samples can be grouped into zeolite like material (ZLM). This is indicated by an increase of physicochemical properties. Specific surface area analysis results it was an increase in $4.975\text{ m}^2/\text{g}$ to $45.716\text{ m}^2/\text{g}$ followed with the formation of pores in the range mesopori. Crystalline Structure of fly ash (samples; mineral quartz and mullite) showed more intensity after treatment with acid activation.

Keywords : fly ash, Adsorpsi, ZLM.

Pendahuluan

Saat ini jumlah limbah abu layang batubara (*fly ash*) yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sangat besar, termasuk di Indonesia. Di Indonesia, PLTU penghasil limbah abu layang batubara adalah PLTU Paiton (Jawa Timur), PLTU Suralaya (Banten) dan PLTU Bukit Tinggi (Sumatera). Untuk PLTU Paiton dan Suralaya pada tahun 1996 menghasilkan limbah abu layang batubara sebesar hampir 1 juta ton per tahun. Apalagi pada saat ini jumlah untuk pembangkit yang beroperasi pada ketiga PLTU tersebut semakin banyak. Limbah abu layang batubara yang relatif besar ini menimbulkan dampak pencemaran yang cukup berbahaya. Sehingga perlu dipikirkan alternatif pemecahan permasalahan pencemaran ini.

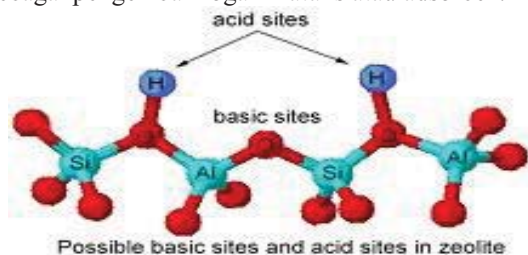
Hasil analisis kandungan mineral menunjukkan bahwa abu layang mengandung oksida-oksida logam termasuk logam-logam berat dalam jumlah kecil. Oksida utama dari abu layang batubara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3). Keberadaan komponen silika dan alumina memungkinkan abu layang untuk dapat disintesis menjadi material yang strukturnya mirip dengan

zeolit atau dikenal dengan *zeolite like material* (ZLM). Struktur zeolit yang berpori merupakan sifat yang dapat dimanfaatkan sebagai material adsorben suatu bahan pencemar yang dikeluarkan dari suatu industri.

Tinjauan Pustaka

Abu layang atau *fly ash* adalah *material pozzolanic* hasil samping dari pembakaran batu bara. Abu layang terbentuk karena adanya mineral-mineral yang tidak mudah terbakar yang terkandung di dalam batu bara, seperti Silika (Si), Alumina (Al) dan Besi (Fe). Karena tingginya kandungan silika dan alumina didalamnya, abu layang dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dan alumina dalam sintesis material zeolit. Mengingat kandungan abu layang umumnya sangat beragam dan tidak memungkinkan melakukan pemisahan silika dan alumina, material sintesis yang dibuat umumnya disebut dengan istilah material mirip zeolit (*zeolite like material/ZLM*). Material hasil sintesis secara teoritis dapat mengambil peranan seperti yang dimiliki oleh zeolit yang disintesis secara komersial, yaitu sebagai adsorben, katalis dan pengayak molekular/*molecular sieve*.

Zeolit adalah material kristal silika-alumina yang memiliki struktur penataan polimer tiga dimensi yang terdiri dari unit-unit tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 , yang bergabung dengan jalan pemakaian bersama (*sharing*) oksigen. Struktur zeolit dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasar struktur padatan yang berpori dan memiliki rongga-rongga serta stabilitas termal yang besar, material mirip zeolit dapat difungsikan sebagai pengemban logam katalis atau adsorben.



Gambar 1. Komposisi dan struktur Zeolit

Besarnya kandungan silika dan alumina memungkinkan abu layang ditreatment menjadi material adsorben silika alumina. Usaha untuk memperbaiki kristalinitas dan efektifitas abu layang telah banyak dilakukan yaitu dengan cara dekomposisi abu layang. Dekomposisi bertujuan menghilangkan senyawa pengotor pada abu layang, sehingga dapat memperbaiki struktur kristal, porositas dan daya adsorpsi terhadap beberapa ion logam.

Metode dekomposisi yang banyak digunakan adalah pencucian dengan cara refluks abu layang menggunakan larutan alkali atau asam. Prinsip dekomposisi tersebut adalah memperkecil kandungan senyawa pengotor yang terikut dalam abu layang. Penghilangan senyawa pengotor akan menaikkan kristalinitas abu layang, dengan demikian akan menaikkan kinerja abu layang sebagai material katalis atau adsorben (Zhang et.al., 2007).

Murayama et.al (2002) telah mempelajari sintesis abu layang menjadi ZLM dengan metode dekomposisi dengan larutan alkali yang diikuti dengan reaksi hidrotermal. Pada penelitian ini, dilihat pengaruh jenis larutan alkali yang digunakan, yaitu larutan NaOH, Na_2CO_3 dan KOH, sedangkan perbandingan massa abu layang dan volume larutan alkali dibuat tetap, yaitu 1 banding 4. Murayama juga mempelajari pengaruh pemakaian campuran larutan alkali pada proses dekomposisi, yaitu campuran larutan NaOH dan Na_2CO_3 , NaOH dan KOH serta Na_2CO_3 dan KOH. Reaksi hidrotermal dilakukan dalam autoklaf dengan suhu 393 K pada kondisi pengadukan selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit yang terbentuk adalah zeolit jenis P.

Zhang et.al. (2007) telah meneliti sintesis abu layang dengan dekomposisi menggunakan larutan H_2SO_4 pada berbagai konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ZLM yang terbentuk dapat digunakan untuk material adsorben senyawa ammonium dan fosfat dari air buangan. Sintesis sintesis Faujasite dari abu layang batubara telah dilakukan oleh Sutarno dkk. (2004). Pada penelitian ini sintesis Faujasite dari abu layang batubara dilakukan melalui tahapan-tahapan proses refluks, penggerusan, peleburan dan reaksi hidrotermal. Refluks abu layang batubara dilakukan dengan larutan HCl 5 M pada temperatur 90°C selama 5 jam. Peleburan dilakukan terhadap abu layang batubara hasil refluks dengan NaOH (rasio berat NaOH/abu layang batubara = 1,2) pada temperatur 550°C selama 1 jam. Hasil peleburan kemudian dilarutkan dalam akuades dan dilanjutkan dengan proses reaksi dihidrotermal dalam autoklaf selama 3 hari pada temperatur 100°C . Hasil penelitian menunjukkan sintesis abu layang melalui perlakuan refluks dengan HCl 5 M menghasilkan Faujasite, sedangkan tanpa perlakuan refluks menghasilkan Hydroxysodalite.

Penelitian tentang proses adsorpsi zat warna dari limbah cair industri tekstil telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan berbagai jenis adsorben diantaranya: zeolit, karbon aktif, dan lempung (*clay*). Kannan et.al. (2002) telah mempelajari adsorpsi zat warna jenis Congo Red dengan menggunakan beberapa jenis karbon aktif yang dibuat dari serbuk bambu, tempurung kelapa, kulit kacang tanah, sekam padi serta jerami padi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prosentase pengurangan konsentrasi Congo Red akan meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel karbon aktif dan semakin rendahnya pH. Kannan et.al. juga memperoleh kesimpulan bahwa data keseimbangan yang diperoleh mengikuti persamaan adsorpsi isoterm Freundlich dan Langmuir orde satu.

Metodologi

Bahan dan Alat yang diperlukan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah: abu layang dari PLTU Suralaya, zat warna Orange G, Methyl Red, Congo Red dan Alizarin S, larutan H_2SO_4 pekat (95-97%) dan larutan HNO_3 pekat (65%) untuk dekomposisi abu layang, NaOH untuk sintesis ZLM dari abu layang, Al_2O_3 untuk pembibitan struktur zeolit.

Sedangkan alat yang dipakai adalah: lumpang porselen untuk menggerus abu layang, ayakan 200 mesh untuk memperoleh abu layang

dengan ukuran yang homogen, alat-alat gelas untuk preparasi dan dekomposisi abu layang, reaktor oksidasi dan kalsinasi untuk reaksi hidrotermal, oven untuk keperluan pemeraman (*aging*), instrumen untuk karakterisasi ZLM, dan alat uji adsorpsi zat warna.

Prosedur Penelitian

Sintesis ZLM dari Abu Layang

Sintesis ZML dari abu layang yang diperoleh dari PLTU mula-mula dilakukan dengan penggerusan dan pengayakan (*screening*) untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Selanjutnya dilakukan proses dekomposisi dengan metode abu layang batubara dilakukan dengan larutan campuran larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) dan Asam Nitrat (HNO_3), dimana jumlah komponen dalam sistem refluks adalah 5 g abu layang batubara dan 100 mL campuran larutan H_2SO_4 dan HNO_3 . Refluks dilakukan pada temperatur $90^\circ C$ selama 5 jam. Abu layang batubara hasil refluks kemudian dinetralisasi dengan menambahkan aquadest sampai pH netral. Setelah pH netral, abu layang kemudian dioven selama kurang lebih 2 jam.

Selanjutnya dilakukan peleburan dilakukan terhadap abu layang dekomposisi dengan menambahkan larutan NaOH sambil dilakukan pengadukan selama 30 menit. Hasil peleburan kemudian ditambahkan Al_2O_3 (aluminium oksida) dan dilarutkan dalam akuades, kemudian larutan diaduk dan diperam selama 24 jam. Hasil peleburan dan pemeraman (*ageing*) kemudian direaksikan secara hidrotermal dalam autoclave. Hasil reaksi hidrotermal kemudian dicuci dengan akuades sampai netral dan dikeringkan pada temperatur $100^\circ C$ dalam oven.

Material hasil sintesis kemudian dikarakterisasi dengan pengukuran kristanilitas menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), penentuan luas permukaan dan distribusi ukuran pori dengan Surface Area Analyzer dan pengukuran energi celah pita secara UV Visible diffuse reflectance spectrophotometer.

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi kandungan logam pada abu layang

Karakterisasi kandungan logam pada abu layang dilakukan untuk mengetahui kandungan logam yang terkandung dalam abu layang sebelum dan sesudah aktivasi asam. Analisis dilakukan dengan mengamati Spektroskopi Serapan Atom menggunakan instrumen pengukur.

Tabel 1. Hasil Analisis *Atomic Adsorption Spectrometer* (AAS)

Komponen (%)	Abu layang mentah	Abu layang aktivasi
Na	1,0313	0,7182
K	0,2526	0,2006
Mg	3,4466	4,2087
Ca	3,9708	2,7915
Fe	3,5812	3,8691
Mn	0,1180	0,1124

Dari Tabel di atas terlihat bahwa, terjadi variasi kenaikan dan penurunan kadar mineral-mineral pada sampel abu layang setelah perlakuan aktivasi dengan larutan asam. Namun dari hasil analisa secara umum menunjukkan bahwa lebih banyak terjadi penurunan kandungan logam setelah aktivasi asam. Hal ini menunjukkan bahwa adanya aktivasi dengan larutan asam dapat menghilangkan kandungan logam yang dapat mempengaruhi kristanilitas abu layang.

Karakterisasi perbandingan silika dan alumina

Karakterisasi kandungan silika dan alumina dalam material baik abu layang sebelum dan sesudah aktivasi dilakukan menggunakan instrumen. Prinsip metode adalah destruksi mineral dengan asam kuat (HNO_3 dan HCl) sehingga meninggalkan silika dan alumina. Selanjutnya larutan dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Hasil analisis yang diperoleh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Silika dan Alumina

Sampel	Perbandingan Si/Al
Abu layang mentah	0,88
Abu layang aktivasi	1,22

Berdasar data analisis yang diperoleh terlihat bahwa aktivasi abu layang dengan larutan asam ternyata memberikan perubahan terhadap perbandingan silika dan alumina. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi berhasil dengan baik dengan tanpa merusak struktur mineral. Naiknya prosentase kandungan silika menunjukkan lepasnya ikatan silika yang sebelumnya berikatan dengan gugus lain.

Karakterisasi kapasitas pertukaran kation (KPK)

Karakter kapasitas pertukaran kation (KPK) dari material dilakukan dengan prinsip penjenjuran mineral dalam abu layang dengan ion ammonium (NH_4^+) dilanjutkan dengan pertukaran ion Cu^{2+} . Pertukaran ion Cu^{2+} dilakukan dengan shaker selama 24 jam untuk memperoleh kesetimbangan pertukaran ion. Hasil analisis dan pengolahan data menunjukkan nilai KPK disajikan pada Tabel 3.

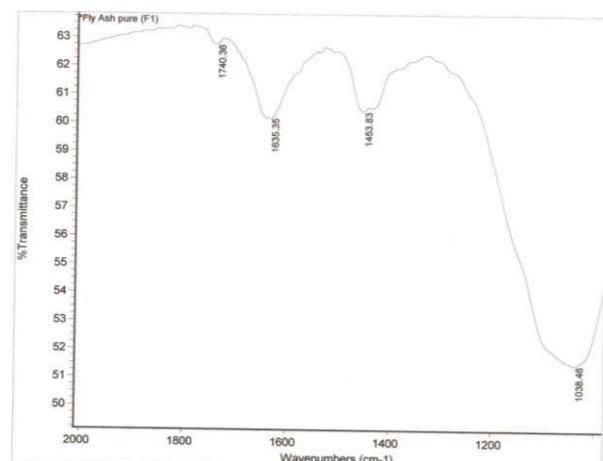
Tabel 3. Hasil analisis KPK

Sampel	KPK (mek/gram)
Abu layang mentah	1,40
Abu layang aktivasi	0,95

Kapasitas pertukaran kation dari abu layang mengalami penurunan setelah proses aktivasi. Hal ini disebabkan oleh lebih banyaknya ion tertukar pada mineral abu layang sebelum mengalami aktivasi.

Karakterisasi gugus fungsi dengan metode Fourier Transform Infra Red (FT-IR)

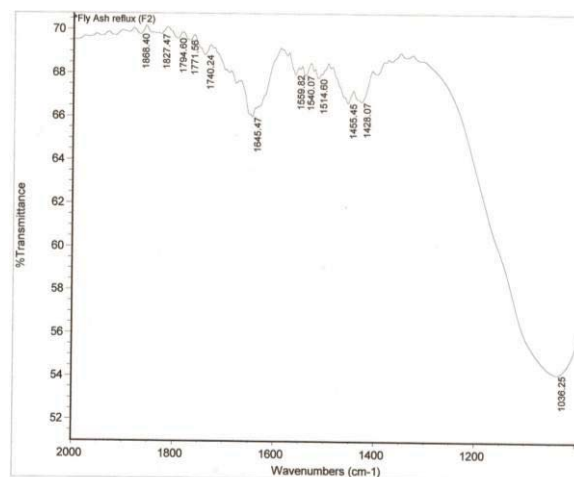
Untuk mengetahui gugus fungsi penyusun abu layang dilakukan analisa dengan metode Fourier Transform Infra Red (FT-IR) yang dilakukan pada bilangan gelombang $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$. Hasil analisa dapat dilihat pada gambar berikut.

**Gambar 2.** Spektra inframerah abu layang sebelum aktivasi

Dari gambar tersebut memperlihatkan adanya pita-pita serapan yang muncul pada daerah $3450,05 \text{ cm}^{-1}$, $1635,35 \text{ cm}^{-1}$, dan $1038,46 \text{ cm}^{-1}$. Pita serapan yang muncul pada daerah $3450,05 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi OH rentangan, sedangkan pita serapan yang muncul pada daerah $1635,35 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi OH tekukan, hal ini menunjukkan adanya ikatan hydrogen dalam molekul H_2O yang ada dalam abu layang. Untuk serapan $1038,46 \text{ cm}^{-1}$

terjadi vibrasi rentangan asimetri Si-O atau Al-O dalam SiO_4 atau AlO_4 tetrahedral ($1250 \text{ cm}^{-1} - 950 \text{ cm}^{-1}$).

Sedangkan spektra inframerah untuk abu layang yang telah direfluks ditunjukkan oleh gambar berikut.

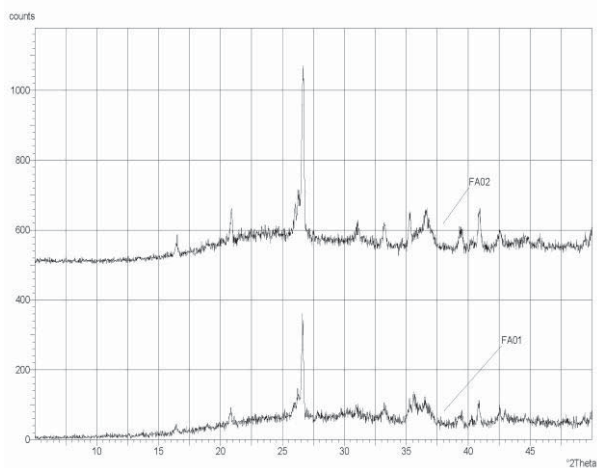
**Gambar 3.** Spektra inframerah abu layang aktivasi

Pada spektra inframerah produk abu layang yang telah direfluks, mengalami pergeseran dibandingkan dengan spektra inframerah abu layang dengan ditemukannya daerah serapan $467,71 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan bahwa produk tersebut telah mengalami pembukaan pori sehingga produk tersebut lebih efektif adsorpsinya dalam menurunkan zat warna tekstil.

Pita adsorben pada bilangan gelombang $980-1320 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya atom Al tersubstitusi dalam bentuk tetrahedral dari *framework* silica. Pada 440 cm^{-1} merupakan mode bending Si(Al)-O dan $380 - 403 \text{ cm}^{-1}$ merupakan pembukaan pori (Mimura, 2001). Dari gambar tersebut terjadi pergeseran dan pembentukan pita serapan baru yaitu dari $1038,46 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1036,25 \text{ cm}^{-1}$, $468,76 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $467,71 \text{ cm}^{-1}$, $556,47 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $551,33 \text{ cm}^{-1}$, $776,54 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $688,49 \text{ cm}^{-1}$, serta pembentukan pita pada $679,44 \text{ cm}^{-1}$.

Karakterisasi struktur kristal menggunakan X-Ray Diffraction (XRD)

Perbandingan data XRD sampel abu layang sebelum dan sesudah aktivasi disajikan pada Gambar berikut.



Gambar 4. Pola difraksi sinar X abu layang sebelum (FA01) dan sesudah aktivasi asam (FA02)

Dari difraktogram di atas dapat disimpulkan bahwa sebelum dilakukan aktivasi, abu layang tersusun atas struktur kristal mineral kuarsa (SiO_2) dan mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). Kuarsa yang merupakan kandungan utama ditunjukkan 20,80396 dan 26,22240, Sedangkan kandungan mullite ditunjukkan dengan puncak pada 20: 12,59598 dan 16,39941.

Dari analisis difraktogram mineral abu layang sesudah aktivasi terlihat bahwa setelah aktivasi tidak terjadi kerusakan struktur mineral abu layang. Hal ini terlihat dengan adanya struktur kristal mineral kuarsa dan mullite. Mineral kuarsa ditunjukkan dengan puncak pada 20: 20,87082 dan 26,66804, sedangkan mineral mullite ditunjukkan dengan puncak pada 20: 36,59840 dan 4,88986. Namun terlihat bahwa adanya kristanilitas mineral abu layang meningkat dengan naiknya intensitas relatif (I). Munculnya banyak puncak dan bentuk difraktogram yang meninggi (tidak landai) menunjukkan bahwa kristanilitas dan homogenitas mineral dalam abu layang masih rendah, karena masih terlalu banyak kandungan senyawa kimia di dalamnya.

Luas permukaan spesifik padatan

Data luas permukaan spesifik padatan, volume pori, rerata jejari pori padatan disajikan tabel 4.

Tabel 4. Data analisis luas permukaan spesifik

Kenaikan luas permukaan spesifik terjadi oleh proses aktivasi mineral abu layang dari sebesar 4,975 m^2/g menjadi 45,716 m^2/g . Kenaikan luas permukaan spesifik ini disertai dengan penurunan rerata jejari pori dari 13,6605 Å menjadi 11,998 Å. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi menyebabkan

kenaikan distribusi ukuran pori mineral pada range mikropori sebagai akibat dari defisiensi mineral pengotor. Namun demikian, volume total pori padatan menunjukkan kenaikan. Hal ini semakin mendukung asumsi adanya mikropori baru yang terbentuk oleh proses aktivasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan dari hasil sintesis abu layang menjadi material mirip zeolit telah berhasil dilakukan, hal ini terlihat dengan adanya peningkatan sifat fisikokimiawi mineral abu layang yang meliputi: peningkatan luas permukaan spesifik, terbentuknya pori-pori pada range mesopori, peningkatan krisnilitas, semakin naiknya kapasitas pertukaran kation dan semakin besarnya perbandingan silika dan alumina.

Untuk lebih meningkatkan karakter material mirip abu layang, maka pada sisa waktu penelitian akan dilakukan sintesis lanjutan material mirip abu layang dengan reaksi hidrotermal dengan larutan alkali dan peleburan menggunakan Al_2O_3 (aluminium oksida). Diharapkan material mirip zeolit hasil sintesis akan lebih meningkat kekristalan dan homogenitasnya. Selanjutnya juga akan dilakukan uji aktivitas awal material mirip zeolit hasil sintesis dari abu layang untuk adsorpsi zat warna tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrhein, C. H., Haghnia, G.H., Kim, T.S., Mosher, P.A., Gagajena, R.C., Amanios, T., de la Torre, L., 1996, *Synthesis and properties of zeolites from coal fly ash*, Environ. Sci. Technol. 30, 735–742.
- Berkgaot, V., Singer, A., 1995, *Cation exchange properties of hydrothermally treated coal fly ash*, Environ. Sci. Technol. 29 (7), 1748–1753.
- Bouberka Z., Kacha, S., Kameche, M., Elmaleh, S., and Derriche, Z., 2005, *Sorption study of an acid dye from an aqueous solutions using modified clays*, Journal of Hazardous Materials B, 119, 117–124.
- Chen, J., Kong, H., Wu, D., Hu, Z., Wang, Z., and Wang, Y., 2006, *Removal of phosphate from aqueous solution by zeolite synthesized from fly ash*, Journal of Colloid and Interface Science, 300, 491–497.

Parameter	Abu layang	Abu layang aktivasi
Luas permukaan spesifik (m^2/g)	4,975	45,716
Volume Pori (cm^3/g)	0,01374.10 ⁻³	0,1572.10 ⁻³
Rerata jejari pori (Å)	13,6605	11,998

- Dogan, M., and Alkan, M., 2003, *Adsorption kinetics of methyl violet onto perlite*, Chemosphere, 50, 517–528.
- Eren Z., and Acar F. N., 2006, *Adsorption of Reactive Black 5 from an aqueous solution: equilibrium and kinetic studies*, Desalination, 194, 1–10.
- Hameed, B.H., Ahmad, A.L., and Latiff, K.N.A., 2007, *Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust*. Dyes and Pigments, 75, 143–149.
- Kannan, N. and Meenakshisundaram, M., 2002, *Adsorption of Congo Red on Various Activated Carbons. A Comparative Study*. Water, Air, And Soil Pollution 138: 289–305.
- Karadag, D., Akgul, E., Tok, S., Erturk, F., Kaya, M.A., and Turan, M., 2007, *Basic and Reactive Dye Removal Using Natural and Modified Zeolites*, J. Chem. Eng. Data, 52, 2436–2441.
- Lin, C.F., His, H.C., 1995, *Resource recovery of waste fly ash: Synthesis of zeolite-like materials*, Environ. Sci. Technol. 29 (4), 1109–1117.
- Malik, R., Ramteke D. S., and, Wate S.R., 2007, *Adsorption of malachite green on groundnut shell waste based powdered activated carbon*. Waste Management, 27, 1129–1138.
- Murayama, N., Yamamoto, H., and Shibata, J., *Mechanism of zeolite synthesis from coal fly ash by alkali hydrothermal reaction*, International Journal of Mineral Processing, Volume 64, Issue 1, February 2002, Pages 1–17.
- Ozacar, M., and Sengil, I. A., 2002, *Adsorption of Acid Dyes from Aqueous Solutions by Calcined Alunite and Granular Activated Carbon*. Adsorption 8: 301–308.
- Onyango, M. S., Kuchar, D., Kubota, M., and Matsuda, H., 2007, *Adsorptive Removal of Phosphate Ions from Aqueous Solution Using Synthetic Zeolite*, Ind. Eng. Chem. Res., 46, 894–900.
- Querol, X., Umaña, J. C., Plana, F., Alastuey, A., Lopez-Soler, A., Medinaceli, A., Valero, Domingo, A., M. J., and Garcia-Rojo, E., 2001, *Synthesis of zeolites from fly ash at pilot plant scale. Examples of potential applications*, Fuel, Volume 80, Issue 6, pages 857–865.
- Shigemoto, N. Hayashi, H. and Miyaura, K. *Selective formation of Na-X zeolite from coal fly ash by fusion with sodium hydroxide prior to hydrothermal reaction*, Journal of Materials Science, Volume 28, Number 17, pages 4781–4786.
- Srinivasan, A., Grutzech, M.W., 1999, *The adsorption of SO₂ by zeolites synthesized from fly ash*, Environ. Sci. Technol. 33, 1464–1469.
- Sutarno, Arryanto, Y. dan Budhyantoro, A., 2004, *Sintesis Faujasite dari Abu Layang Batubara : Pengaruh Refluks dan Penggerusan Abu Layang Batubara terhadap Kristalinitas Faujasite*, Jurnal Matematika dan Sains Vol. 9 No. 3, hal 285–290.
- Tahir, S.S., and Rauf, N., 2006, *Removal of a cationic dye from aqueous solutions by adsorption onto bentonite clay*, Chemosphere, 63, 1842–1848.
- Vinod V. P. and Anirudhan T. S., 2003, *Adsorption Behaviour Of Basic Dyes On The Humic Acid Immobilized, Pillared Clay Water, Air, and Soil Pollution*, 150, 193–217.
- Wang, S., Soudi, M., Li, L., and Zhu, Z. H., 2006, *Coal ash conversion into effective adsorbents for removal of heavy metals and dyes from wastewater*, Journal of Hazardous Materials B, 133, 243–251.
- Zhang, B., Wu, D, Wang, C., He, S., Zhang, Z., and Kong, H., 2007, *Simultaneous removal of ammonium and phosphate by zeolite synthesized from coal fly ash as influenced by acid treatment*, Journal of Environmental Sciences, Volume 19, Issue 5, Pages 540–545.